

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra neželezných kovů, rafinace a recyklace

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vybrané možnosti recyklace elektroodpadu
The selected option of e-waste recycling

Student:

Hana Salomonová

Vedoucí práce:

doc. Ing. Silvie Brožová, Ph. D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra neželezných kovů, rafinace a recyklace

Zadání bakalářské práce

Student: **Hana Salomonová**
Studijní program: B3923 Materiálové inženýrství
Studijní obor: 3911R033 Recyklace materiálů
Téma: Vybrané možnosti recyklace elektroodpadu.
The selected option of e-waste recycling.

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce.
2. Vypracování literární rešerše z domácí a zahraniční literatury k dané problematice.
3. Popis známých postupů při recyklaci elektroodpadu.
4. Posouzení technologických, ekologických a ekonomických možností recyklace elektroodpadu.
5. Závěr – celkové hodnocení, perspektiv.

Seznam doporučené odborné literatury:

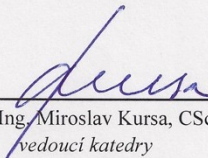
- [1] BOŽEK, F., URBAN, R., ZEMÁNEK, Z. Recyklace. MoraviaTisk Vyškov, Vyškov, 2003. 238 s. ISBN 80-238-9919-8
- [2] Články v odborných časopisech – 2005 až 2015.
- [3] Rewas 2008, Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean technology. ISBN 978-0-87339-726-1
- [4] BENEŠ, D. Technologie zpracování elektroodpadu – všeobecně.
- [5] KRIŠTOFOVÁ, D. Recyklace ušlechtilých kovů. Ostrava 2001.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

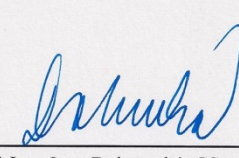
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Silvie Brožová, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016


prof. Ing. Miroslav Kursá, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou práci (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
 - Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
 - Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.
- BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury). V případě, kdy zadání BP vychází ze spolupráce se subjekty mimo VŠB -TU Ostrava a řešení studenta, týkající se citlivých dat spolupracujícího subjektu, je zpracováno v samostatné zprávě, tak zveřejněná část BP bude zpracována v rozsahu min. 15 stran a celkový rozsah BP bude min. 25 stran.

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující doporučené úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm, zarovnání do bloku.

Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9). Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslvány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků. Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690. Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

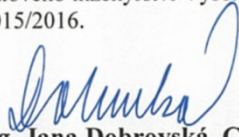
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2015/2016.

Ostrava 2. 11. 2015


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřisežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě

.....

podpis (jméno a příjmení studenta)

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Silvii Brožové Ph. D. za odborné vedení, podnětné připomínky a pomoc při zpracování praktické části.

Tato bakalářská práce byla řešena v rámci projektu č. LO1203 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum – program udržitelnosti“ financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na vybrané možnosti recyklace elektroodpadu. Pozornost je věnována literární rešerši z problematiky elektroodpadu jednak v ČR a také ve světě. Popisují se zde jednotlivé známé postupy při recyklaci elektroodpadu. V neposlední řadě jsou posouzeny technologické, ekologické a ekonomické možnosti zpracování odpadu. Nedílnou částí práce je také provedení materiálové analýzy vybraného elektrospotřebiče.

KLÍČOVÁ SLOVA: recyklace, elektroodpad, zpracování, zákon, odpad

ABSTRACT

Bachelor thesis is focused on possibilities of e-waste recycling. It is aiming on literature search of e-waste problem in Czech republic and the rest of the world. This thesis also describes known methods for e-waste recycling. The next part is about technological, environmental and economical possibilities of e-waste processing. Thesis also includes material analysis of chosen electric appliances.

KEYWORDS: recycling, e-waste, processing, law, waste

OBSAH

Úvod	10
1. Legislativa recyklace odpadů	11
2. Problematika elektroodpadu v České republice a ve světě.....	16
2.1. Česká republika	16
2.1.1. REMA systém a. s.	17
2.1.2. ELEKTROWIN a. s.....	19
2.1.3. ASEKOL a. s.	21
2.2. Svět a Evropa	22
2.3. Ekonomické možnosti recyklace elektroodpadu	25
3. Elektroodpad a jeho složení.....	26
4. Zpracování odpadů a elektroodpadu.....	28
4.1. Mechanické metody	29
4.2. Pyrometalurgické metody	31
4.3. Hydrometalurgické metody	32
4.3.1. Cementace	33
4.3.2. Elektrolýza.....	35
4.3.3. Kapalinová extrakce	37
4.3.4. Iontová výměna	38
4.3.5. Krystalizace	39
4.4. Biotechnologické metody	40
5. Praktická část.....	42
5.1. Materiálová bilance	42
5.2. Zobrazovací metoda	49
6. Závěr	54
Seznam – literatury a zdrojů	55

Úvod

V současné době se stále častěji setkáváme s odpady jak v domácnosti, v práci, v průmyslu, ale i v přírodě. Některé činnosti spojené s odpady se staly celosvětovým problémem, který je potřeba řešit, protože ovlivňují životní prostředí. Problematika odpadu je v České republice řešena zákonem č. 185/2001 Sb., o odpadech.

Odpadní materiál, který není vhodný pro další zpracování, by měl být vhodně recyklován. Část odpadů můžeme opětovně použít ve výrobním cyklu a nevyužitá část musí být vhodně zneškodněna. Problematickými odpady se stávají elektronická a elektrická zařízení, která v současné době mají velmi krátkou životnost.

V této bakalářské práci se zabývám recyklací elektroodpadu vybranými metodami. Důvodem recyklace je snižování množství tohoto typu odpadu v komunálním odpadu a tedy uložení elektroodpadu na skládkách. Zabrání se tak kontaminace životního prostředí, těžby surovinových zdrojů, devastace krajiny a spotřeby energie, vody a dalších.

Cílem mé práce je zhodnocení vybraných metod recyklace elektroodpadu, jakož zdroje druhotných surovin.

V prvních kapitolách věnuji pozornost legislativě upravující nakládání s elektroodpadem v České republice. Popisují důležité body zákona o odpadech, týkající se elektroodpadu, skupiny odpadů a také katalogu odpadů. Zabývám se i v kapitole legislativy chystanou novelou zákona o odpadech, který zasáhne i výrobky s ukončenou životností, tedy elektroodpad. Dále se zabývám problematikou elektroodpadu u nás i ve světě.

Další kapitoly jsou věnovány elektroodpadu, jeho složení a vybranými metodami recyklace elektroodpadu. A to mechanickými, pyrometalurgickými, hydrometalurgickými a biotechnologickými metodami.

V praktické části bych ráda vyhodnotila materiálovou bilanci vybraného elektroodpadu s následnou možností analýzy dalšími metodami.

S nárůstem průmyslové výroby bude potřeba komplexně řešit problémy týkající se odpadového hospodářství.

1. Legislativa recyklace odpadů

Zákon upravující zacházení s odpady najdeme pod číslem **185/2001 Sb. – Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů**. Tento zákon zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a zahrnuje pravidla pro předcházení vzniku odpadů a také jejich nakládání při dodržování ochrany životního prostředí, dále ochranu lidského zdraví a trvale udržitelného rozvoje, omezování nepříznivých dopadů využívání přírodních zdrojů a zlepšování účinnosti tohoto využívání. Také tento zákon upravuje práva a povinnosti osob v odpadovém hospodářství a působnost orgánů veřejné správy v odpadovém hospodářství [1].

Zákon ustanovuje základní pojmy, související s odpady, zařazení odpadu podle **Katalogu odpadů**, který je určen vyhláškou **č. 381/2001 Sb.**, zařazování odpadu podle kategorií, hodnocení nebezpečných vlastností odpadů, povinnosti při nakládání s odpady a povinnosti při nakládání s vybranými výrobky, vybranými odpady a zařízeními a další [1].

Vybranými výrobky se rozumí:

- a) odpad perzistentních organických znečišťujících látek a PCB (polychlorované bifenylly)
- b) odpadní oleje
- c) baterie a akumulátory
- d) kaly z čistíren odpadních vod a další biologicky rozložitelné odpady
- e) odpady z výroby oxidu titaničitého
- f) odpady azbestu
- g) elektrická a elektronická zařízení

Elektrické a elektronické zařízení je definováno v zákonu 185/2001 Sb. jako zařízení, jehož funkce závisí na elektrickém proudu nebo elektromagnetickém poli nebo zařízení k výrobě, přenosu a měření elektrického proudu nebo elektromagnetického pole a které je určeno pro použití při napětí nepřesahující 1000 V pro střídavý proud a 1500 V pro stejnosměrný proud. Za elektroodpad se považují i jeho komponenty, konstrukční a spotřební díly, které jsou součástí zařízení v době, kdy se stal odpadem. Elektrozařízení se dělí na dvě skupiny, tabulka č. 1 [1].

Tabulka č. 1 Dělení elektrozařízení

Dělení elektrozařízení	
I. Skupina elektrozařízení, které se použije do 14. srpna 2018	II. Skupina elektrozařízení, které se použije od 15. srpna 2018
1. skupina velké domácí spotřebiče	1. skupina zařízení pro tepelnou výměnu
2. skupina malé domácí spotřebiče	2. skupina obrazovky, monitory a zařízení osahující obrazovky o ploše větší než 100 cm ²
3. skupina zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení	3. skupina světelné zdroje
4. skupina spotřebitelská zařízení a solární panely	4. skupina velká zařízení, přesahující rozměr 50 cm, kromě zařízení spadající do skupin 1, 2 a 3
5. skupina osvětlovací zařízení	5. skupina malá zařízení, nepřesahující rozměr 50 cm, kromě zařízení spadající do skupin 1, 2 a 3
6. skupina elektrické a elektronické nástroje (s výjimkou velkých stacionárních průmyslových nástrojů)	6. skupina malá zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení, jejichž žádný vnější rozměr nepřesahuje 50 cm
7. skupina hračky, vybavení pro volný čas a sporty	
8. skupina lékařské přístroje (s výjimkou implantovaných výrobků)	
9. skupina přístroje pro monitorování a kontrolu	
10. skupina výdejní automaty	

V Katalogu odpadů č. 381/2001 Sb. spadá elektrozařízení do několika kategorií, podle jeho složení a nebezpečnosti, např.: 16 02 Odpady z elektrického a elektronického zařízení, 20 01 35* Vyřazené elektrické a elektronické zařízení obsahující nebezpečné látky, 20 01 36 Vyřazené elektrické a elektronické zařízení [2].

Norma pod označením **ČSN EN 50625 – 1 Sběr, logistika a požadavky na zpracování OEEZ – Část 1: Obecné požadavky na zpracování**, je českou verzí evropské normy EN 50625-1: 2014. Tato norma má za cíl pomáhat organizacím s účinným a efektivním zpracováním a odstraněním elektrických a elektronických zařízení (OEEZ), aby se předcházelo znečištění a minimalizovaly se emise. Dále pak podpora zvýšení recyklace materiálu, podpora technologie využití na vysoké úrovni, předcházení nevhodnému odstraňování OEEZ a jejich frakcí, zajištění bezpečnosti a ochrana lidského zdraví a ochrana životního prostředí a předcházení předávání OEEZ provozovatelům, jejichž činnost není v souladu s tímto normativním dokumentem [3].

V normativním dokumentu jsou sepsány termíny a definice, vztahující se k OEEZ a jeho zpracování, např.:

- sběr (shromažďování OEEZ)
- CRT (obrazovky)
- sběrné zařízení (místo určené k shromažďování OEEZ)
- odstranění znečištění (selektivní zpracování, odstranění některých látek z toku OEEZ)
- energetické využití (výroba užitečné energie)
- plošná obrazovka
- nebezpečný odpad (vykazuje jednu nebo více nebezpečných vlastností)
- těkavý fluoruhlovodík (organická chemická sloučenina, je schopná měnit fázi, při použití jako chladivo, jako nadouvadlo vytváří buňky ve struktuře izolační pěny)
- těkavý uhlovodík (organická chemická sloučenina, je schopná měnit fázi, při použití jako chladivo, jako nadouvadlo vytváří buňky ve struktuře izolační pěny) a další [3].

Příloha A, zahrnuje normy k odstraňování znečištění. Z OEEZ se musí odstraňovat:

- kondenzátory (obsahují PCB)
- desky s plošnými spoji
- výbojky a součástky obsahující rtuť (odstraňuje se před zpracováním OEEZ)
- baterie a akumulátory (odstraňuje se před zpracováním OEEZ)
- plasty (obsahují bromované zpomalovače hoření – BFR)

a) plastová frakce bez BFR

Neobsahují BFR a mohou být recyklovány – velké domácí spotřebiče, plasty ze zařízení pro výměnu tepla získané z odpadních toků, obsahují fluoruhlodíky a těkavé uhlovodíky.

b) plastové frakce s BFR

Oddělení od plastů neobsahujícího BFR. Podle příslušného právního předpisu se pak zpracovávají.

- těkavé fluoruhlodíky a těkavé uhlovodíky (zpracování v souladu ČSN EN 50574:2012)
- azbest
- součástky vykazující radioaktivní látky [3]

Brzy ale projde změnou legislativa odpadového hospodářství. Koncem února prošly návrhy tří nových zákonů o odpadech vnějším připomínkovým řízením a v této době probíhá vypořádání připomínek. Nové zákony se týkají **Zákonu o odpadech, o obalech a o výrobcích s ukončenou životností**. Tyto zákony by měly být hotovy do konce letošního roku a od roku 2018 by měly vstoupit v platnost. U zákona o obalech se očekává, že schválení zákona proběhne někdy koncem října, kdy nejpozději do konce listopadu letošního roku Česká republika transponuje evropskou směrnicí o obalech. Ustanovení pro značení tašek z bioplastů se účinnost předpokládá ihned. Omezení odnosných plastových tašek začne platit až od roku 2018 [4].

Nový zákon o výrobcích s ukončenou životností by se měl vztahovat na regulaci nakládání se specifickými výrobky, tedy i elektrická a elektronická zařízení. Regulace nakládání s elektrozařízením by v novém zákonu se měla vyčlenit z „mimoodpadového“ režimu a přejít do tzv. zjednodušeného odpadového režimu. Elektrozařízení by se stalo odpadem už při předání na místo zpětného odběru, nikoliv až po předání zpracovateli.

Nový zákon bude řešit také regulaci kolektivních systémů. Současný zákon neuvádí žádné povinnosti pro kolektivní systémy, které by bylo možné vymáhat. V novém zákonu by mělo dojít k rozšíření povinností kolektivních systémů a také k regulaci jejich fungování. Např. zákon navrhuje upravit právní formu založení kolektivních systémů (zda mají být kolektivní systémy akciové společnosti a jaká bude výše minimálního základního kapitálu) [4].

Tento nově chystaný zákon je ve fázi příprav a podle všeho dojde k jeho dalším úpravám. Téma nakládání s elektrozařízením a elektroodpadem je velice specifické a Zákon o výrobcích s ukončenou životností může výrazně ovlivnit celý systém zpětného odběru a odděleného sběru elektroodpadu. K hlavním záměrům tohoto zákona patří dosažení minimální úrovně sběru odpadních elektrozařízení za účelem splnění kvót stanovených legislativou EU a také zajištění transparentního způsobu výběru zpracovatele. Zákon bude mít dopad téměř na všechny subjekty v oblasti nakládání s elektroodpady (výrobce, zpracovatele či kolektivní systémy) [4].

2. Problematika elektroodpadu v České republice a ve světě

Elektroodpad je nejrychleji rostoucím odpadu, kterého pozvolna přibývá díky nižším cenám a kratší životnosti [18].

2.1. Česká republika

Do roku 2007, bylo běžné vhazovat elektroodpad do popelnic mezi komunální odpad. Velká zařízení, jako pračky a ledničky se odevzdávaly a stále odevzdávají na sběrné dvory [18]. Sběrem, svozem a zpracováním elektroodpadu několik firem (tabulka č. 2).

Tabulka č. 2 Firmy ČR [19, 20, 21, 22, 23, 24]

Firma	Čím se zabývá	Rok založení	Sběrná místa
REMA systém a. s.	Komplexní řešení pro všechny skupiny elektrozařízení	2005	1900
ELEKTROWIN a. s.	Malé i velké elektrospotřebiče, elektrické i elektronické nástroje, chladicí zařízení	2005	Více než 13 000 sběrných míst
ASEKOL a. s.	Sběr, doprava a recyklace vysloužilých elektrospotřebičů	2005	13 231
RETELA s.r.o.	Nakládání s elektrozařízením, přenosných baterií a solárních panelů	2005	29 791
OFO – recycling s.r.o.	Sběr, třídění, nakládání a recyklace elektrických a elektronických zařízení (baterie, akumulátory, solární panely)	2005	882
KOVOHUTĚ Příbram nástupnická a. s.	Zpracování odpadů z elektrických a elektronických zařízení	Od roku 2005 divize elektroodpad	Kovohutě Příbram

V České republice málokdo ví, že v srpnu v roce 2013, se přestal na našich účtenkách za malé domácí spotřebiče objevovat poplatek za tzv. historický elektroodpad. Tento poplatek byl spotřebitelům účtován, aby firmy měly prostředky na likvidaci elektroodpadu, který byl na trh uveden před 13. srpnem 2005. Teprve od tohoto data, mají výrobci povinnost elektrozařízení ekologicky zlikvidovat v době, kdy doslouží. Poplatek se na účtence objevoval zvlášť a vztahuje se na spotřebiče, které se na trh dostaly před touto povinností. U velkých spotřebičů, jako lednice, pračky, myčky apod. platil tento poplatek do srpna loňského roku. Ovšem peníze na sběr a recyklaci vyřazených spotřebičů, bude potřeba i po srpnu 2015 [26].

V roce 2014 Česká republika vyprodukovala téměř 157 tun elektroodpadu, což na jednoho obyvatele bylo 14,8 kg [30].

V další části se podrobněji věnuji jednotlivým podnikům, které se zabývají recyklací.

2.1.1. REMA systém a. s.

Průběžně v roce 2014 bylo v rámci sběru a svozu odbaveno 11 000 objednávek přes logistické oddělení společnosti. V grafu č. 1 můžeme vidět odebraná elektrozařízení rozdělené dle krajů v kilogramech na osobu [25].

Graf č. 1 Odebraná elektrozařízení dle krajů v kilogramech na osobu [25]

Vysloužilé spotřebiče se zpracovávají ruční demontáží nebo pomocí automatizovaných linek. V roce 2014 REMA systém spolupracoval s 18-ti zpracovatelskými zařízeními. V grafu č. 2 můžeme vidět množství sebraných elektrozařízení v tunách rozdělené podle skupiny uvedeny v příloze č. 7 zákona č. 185/2001 Sb. Specializují se zejména na skupinu 3 – zařízení IT [25].

Graf č. 2 Množství sebraného elektroodpadu v tunách [25]

Během roku mohou kdykoliv Zelené firmy využít tzv. „Velkou sběrovou akci“. Kdy vysloužilé elektrospotřebiče a baterie jsou odvezeny k recyklaci a firmy získají zpětnou vazbu ve formě ekologické úspory (přepočtenou na ekvivalent CO_2). V průběhu podzimu 2014 se během sběrové akce ušetřilo 536 kg CO_2 což je 3 353km autem [32].

2.1.2. ELEKTROWIN a. s.

Společnost v loňském roce odebrala 29 921 tun elektrozařízení. V následujícím grafu č. 3 je uvedeno množství odebraného elektrozařízení v kilogramech na obyvatele v jednotlivých krajích prostřednictvím společnosti ELEKTROWIN. Hodnoty jsou zaokrouhleny [27].

Graf č. 3 Odebraná elektrozařízení dle krajů v kilogramech na obyvatele [27]

Odebraný elektroodpad, který dosahoval téměř 30 000 tun byl tvořen, jak můžeme vidět v grafu č. 4 , chladícím zařízením, velkými a malými spotřebiči.

Graf č. 4 Odebraného elektrozařízení v tunách [27]

V našich ulicích můžeme vidět tento typ kontejneru společnosti ELEKTROWIN (obrázek č. 1), kde můžeme odkládat vysloužilé elektrozařízení.



Obrázek č. 1 ELEKTROWIN nádoba na sběr drobných elektrozařízení [20]

2.1.3. ASEKOL a. s.

Prostřednictvím společnosti ASEKOL, občané v roce 2014 odevzdali 16 981 tun elektrozařízení. V grafu č. 5 můžeme vidět, který kraj odevzdal nejvíce kg elektrozařízení na osobu [28].

Graf č. 5 Odevzdané elektrospotřebiče v jednotlivých krajích v kilogramech na osobou [28]

V tabulce č. 3 najdeme, kolik se recyklací 16 981 tun elektrozařízení ušetřilo konkrétních surovin. ASEKOL od svého počátku už odebrala 130 000 000 kg elektrozařízení [28].

Tabulka č 3. Úspora konkrétních surovin

Surovina	Množství
Energie	219 255 MWh
Ropa	11 232 559 l
Voda	948 614 m ³ (948 614 000 l)

Vyřazené elektrospotřebiče můžeme vhazovat do tohoto kontejneru společnosti ASEKOL, obrázek č. 2.



Obrázek č. 2 ASEKOL nádoba na sběr vysloužilých elektrospotřebičů [21]

2.2. Svět a Evropa

V roce 2014 se ve světě vyprodukovalo 41 milionů tun elektroodpadu a k recyklaci bylo odevzdáno jen 6,6 milionu. Z těchto 41 milionů tun elektroodpadu, který obsahuje i nebezpečné části, se 60 – 90% zneškodňuje nelegální cestou, jak se uvádí ve zprávě „Waste Crimes, Waste Risks: Gaps Challenges In the Waste Sector“, kterou shrnul ve zprávě program OSN pro životní prostředí (UNEP), která situaci bere mnohem vážněji než před dvěma lety, uvádí studie. Zpráva také uvádí, že zlepšení nelegálního zpracování elektroodpadu, je minimální a do roku 2017 – 2018 se může zvýšit produkce elektroodpadu až na 50 milionů tun. INTERPOL (ekonomické oddělení - Mezinárodní organizace kriminální policie) odhadoval, že při ceně 500 dolarů za jednu tunu elektroodpadu představuje nelegální vývoz a skládkování elektroniky byznys s obratem 12,5 – 18,8 miliardy dolarů ročně (kolem 297,8 – 447,8 miliard českých korun). Podle Achim Steinera, Generálního podsekretáře OSN a výkonného ředitele UNEP (United Nations Environmental Programme, program OSN pro životní prostředí), je možné řešení v silnější regulaci na národní úrovni, zvýšení obecného podvědomí zesílení právních opatření a robustní prevence vzniku odpadů.

Ač existuje určitá bariéra/zákaz, vývozu nebezpečných odpadů z členských zemí EU a zemí spadající pod Organizaci pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD) do zemí které pod OECD nespádají, dá se toto nařízení obejít „špatným“ zařazením odpadu, či pomocí v rozvojových zemích jako „humanitární projekt“. Funguje to tedy tak, že se elektroodpad na papíře promění v „plast“ nebo něco jiného. Cílovými destinacemi se tedy stávají země západní Afriky – Pobřeží slonoviny a Demokratická republika Kongo. V Asii to pak jsou země Pákistán, Bangladéš a Indie [11].

Obecně se ve světě recykluje necelá jedna šestina elektroodpadu. Největším znečišťovatelem elektroodpadem jsou však Spojené státy, které v roce 2014 zaznamenaly 7,1 milionu tun elektroodpadu a dále pak Čína s 6 miliony. V Evropě je nejvíce tohoto odpadu v Norsku, zde na jednoho obyvatele připadá asi 28 kg elektroodpadu, dále Švýcarsko, Island, Dánsko a Británie, jak uvádí agentura Reuters s odvoláním na studii OSN. Dále mezi největší znečišťovatele elektronickým odpadem jsou kromě USA a Číny, Japonsko, Německo a Indie. V Africe na jednoho obyvatele připadá méně než 1,7 kilogramů. Materiál, který byl ve formě elektroodpadu vyhozen, jako zlato, stříbro, železo a měď měl hodnotu 52 miliard dolarů, uvedla studie OSN pro rok 2014 [12].

Produkce a recyklace elektroodpadu v roce 2000 až 2013 můžeme vidět v grafu č. 6, ze kterého vyplývá, že úroveň recyklace roste a vzniklý odpad pomalu klesá i když zpráva „Waste Crimes, Waste Risks: Gaps Challenges In the Waste Sector“ uvádí, že se množství elektroodpadu má zvyšovat. I přes zvyšující se recyklaci, značné množství elektroodpadu končí ve spalovnách a na skládkách. Data v grafu primárně pocházejí z EPA (Environmental Protection Agency). Článek pojednává o tom, že je podezřelý, aby objem elektroodpadu klesal, i když hmotnost a tedy i velikost elektroniky klesá. Data vychází ze zprávy EPA s názvem „Advancing Sustainable Materials Management. Facts and Figures 2013“. Tato zpráva sleduje výrobu a recyklaci široké škály výrobků a materiálů z podniků a institucí. Výše uvedená data zahrnují jen některé kategorie elektroniky (televizory, přehrávače, telefony, počítačové vybavení a další) [29].

Jiný zdroj pro rok 2014 uvádí, že na světě bylo vyprodukováno 41,8 tun elektroodpadu a na jednoho obyvatele činil elektroodpad 5,9 kg. Ten samý zdroj také uvádí, že v rámci evropské unie se vyprodukovalo 9,5 tun elektroodpadu, což na jednoho obyvatele bylo 18,7 kg. [30].

Graf č. 6 Produkce a recyklace elektroodpadu 2000 – 2013 [29]

Budoucnost elektroodpadu vidí výzkumníci z Univerzity Illinois v autodestrukci elektroniky. E-odpady totiž na skládkách tvoří největší část odpadu s nebezpečnými součástkami. Tým pracovníků vedených Scottem R. Whitem přišli s prvními nápady v Materiálových laboratořích Fredericka Seitze. Scott a tým pracovníků chtěli zařízení, které se po dosloužení může zcela zrecyklovat. První testy vycházely z možnosti rozpouštění zařízení ve vodě. To byl ale teprve začátek, výzkum se dále rozrůstal o nové kapitoly. Jak rozložit zařízení na dálku a jak rozklad urychlit (pomocí tepla, ultrafialového záření, mechanického stresu). Šlo o to, aby se zařízení mohlo rozebrat, snadno zastaralé zařízení znovu využít a aby se na skládce rozkládalo co nejkratší dobu. Výzkumníci tedy přišli s elektronickým zařízením, které využívá obvody z hořčíku, předtištěných na velmi tenký a ohebný materiál. Na povrchu zařízení výzkumníci zachytili mikroskopické kapky slabé kyseliny izolované ve voskové kapsli a celé zařízení je zalito voskovým filtrem. Zařízení se po dosloužení zahřeje, vosk se rozpustí a kyselina smyje přetištěné obvody. Základní deska, která zůstane, může být použita znovu. Autodestrukce může být spuštěna i na dálku, zařízení obsahuje vysokofrekvenční přijímač a indukční ohřívač, který po přijetí signálu se zahřeje a

vosk se rozpustí. Předpokládaný čas se bude pohybovat mezi 20 sekundami až několika minutami [13].

2.3. Ekonomické možnosti recyklace elektroodpadu

Uložení elektroodpadu na skládce je nejméně vhodná forma zneškodnění. OEEZ podléhá podle zákona zpětnému odběru a proto musí být materiálově využit. V systému nakládání s odpady jsou skládky na posledním místě a slouží jako zařízení k uložení odpadů, který se rozkládá řádově několik desítek let.

V České republice je přibližně 350 skládek a cenové rozmezí za uložení odpadu se pohybuje od 3000 – 12 000 za tunu. V následující tabulce č. 4 je zobrazena sazba za elektroodpad odevzdaného do elektro-kontejnerů [27]. Toto odevzdané elektrozařízení přechází do chráněných dílen nebo do středisek pro třídění odpadu.

Tabulka č. 4 Sazba za elektroodpad

Průměrná čtvrtletní hmotnost převzatých kontejnerů [t]	Elektro- kontejner velké a malé spotřebiče [Kč/kg]	Elektro- kontejner chlazení	Příklad hmotnost velké a malé spotřebiče/ chlazení [t]	Příklad příspěvek pár naplněných elektro- kontejnerů – celkem [Kč]
Do 3	1,95	0,35	3 / 3	6 900 – 12 900
Od 3,1 o 4,9	2,15	0,65	4,9 / 4,9	13 720 – 20 355
Nad 5	2,35	0,95	6 / 6	18 180 – 31 800

Rozpětí je dáno minimální (0 Kč/kg) a maximální (2 Kč/kg) sazbou ročního příspěvku

3. Elektroodpad a jeho složení

Spotřeba elektrických a elektronických zařízení (EEZ) prudce stoupala v 70. letech minulého století. Byly to především televizory, mobily, počítače, malé domácí spotřebiče a další. Zvyšující se poptávkou a zejména rychlým technickým vývojem, klesala cena a doba životnosti těchto výrobků. Místo oprav a renovací vystřídaly staré výrobky, výrobky nové a komunální odpad se hromadil vysloužilými spotřebiči. Ty se hromadily na skládkách a nebo končily ve spalovnách. Nebezpečné látky, které jsou obsaženy v elektroodpadu, představovaly nebezpečí pro člověka a životní prostředí [15].

EEZ je jedním ze zdrojů druhotných surovin. Jeho složení je proměnlivé a obtížné určit. Důvodem jsou různé druhy zařízení o různém složení, různí výrobci těchto zařízení a také rychlý pokrok ve vývoji nových přístrojů. Nepřetržitá inovace vede k hromadění elektroodpadu, někdy i zařízení, které jsou funkční, ale už zastaralá. Při hromadění EEZ na skládkách vzniká problém s únikem škodlivin do životního prostředí a vzniku toxických emisí při spalování komunálního odpadu [5, 14, 15].

V dnešní době je elektroodpad nejrychleji rostoucím druhem odpadu. Jeho recyklace, jakož zdroj druhotných surovin, je v popředí zájmu vyspělých ekonomik světa, které se zaměřují na ochranu životního prostředí. Je brán ohled na různorodost jednotlivých komponentů a pro jejich zpracování je volen způsob převážně mechanický, chemické postupy se používají k finálnímu zpracování [5, 14, 15].

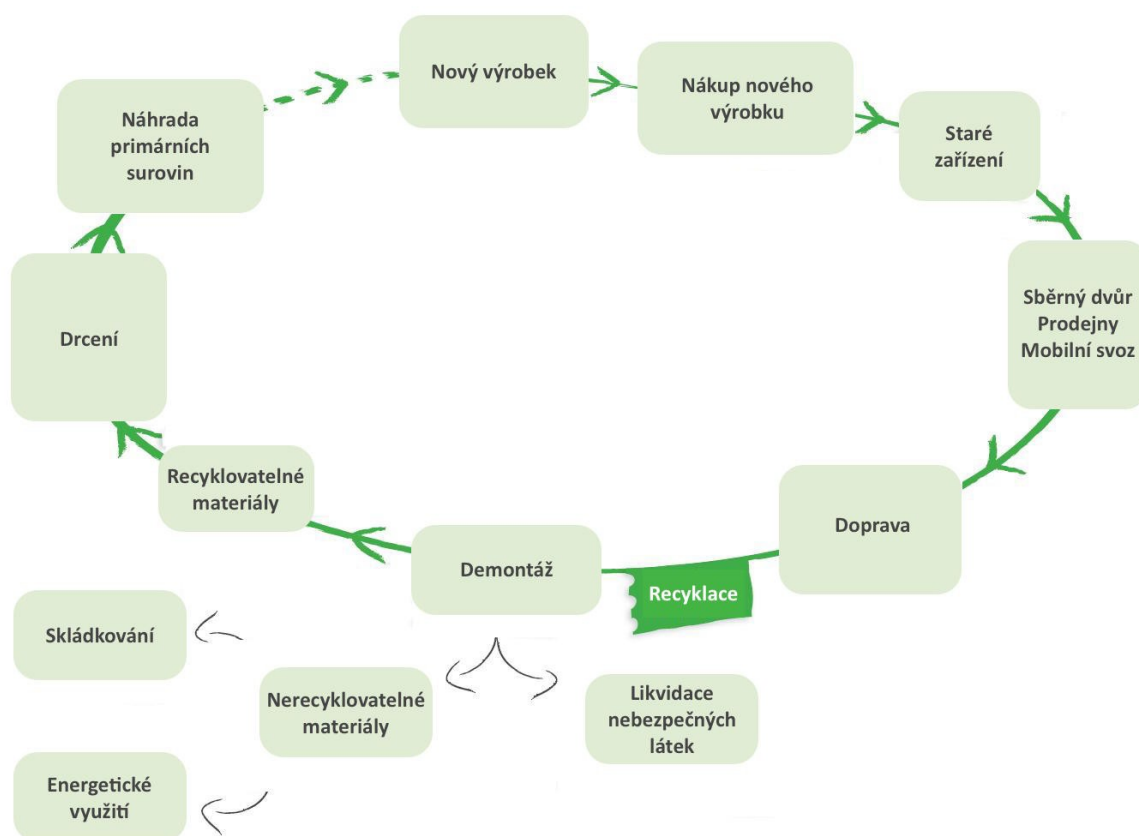
OEEZ můžeme definovat jako směs různých kovů, jejich slitin a sloučenin spojenou nebo pokrytou různými plasty, sklem a keramikou. U starších zařízení může být součástí OEEZ dřevo, dřevotříska a papír, který může být pokryt prachem a otěry. Z OEEZ se v současné míře získává různé množství oceli a slitina, měď, hliník, olovo nikl, molybden i někdy cín, zlato, stříbro, platina, palladium, rhodium, homogenní plasty a sklo. Plasty (směs polystyrenu, polyuretanové pěny), sklo, izolační materiál a zbytky kovů řadíme mezi nevyužitelné frakce [5, 14, 15].

Elektroodpad je složen především z plastů ($\approx 30\%$), žáruvzdorných oxidů ($\approx 30\%$) a kovů ($\approx 40\%$) graf č. 7. Plasty jsou vyrobeny z C – H – O polymerů jako polyethylen, polypropylen, polyester apod. (asi $z > 25\%$). Dále pak z plastů halogenidových ($< 5\%$) a nitridových polymerů ($< 1\%$). Mezi žáruvzdorné oxidy patří SiO_2 (15%), Al_2O_3 (6%) a z oxidů alkalických zemin (3%). Kovy si dále můžeme rozdělit na kovy základní a kovy ušlechtilé. Základní kovy tvoří asi 39% a řadíme mezi ně měď (20%), železo (8%), nikl (2%), cín (4%), olovo (2%), hliník (2%) a zinek (1%). Ušlechtilé kovy tvoří zlato ($0,1\%$), stříbro ($0,2\%$) a palladium ($0,005\%$). Jejich použití v elektronických součástkách je různé, najdeme je např. na povrchu konektorů, v integrovaných obvodech, tranzistorech, keramice, relé atd. Zlato a palladium může být nanášeno na měděné kontakty nebo měděné desky, čisté zlato se používá v telekomunikačních sítích. Zlato a stříbro se plátuje na nikl nebo železo, ohnivzdorné keramické směsi, směsné kovy a čisté kovy nebo slitiny (směsné kovy obsahují platinové kovy) [14].

Graf č. 7 Složení elektroodpadu [14]

4. Zpracování odpadů a elektroodpadu

Suroviny se ve výrobě spojují, doplňují a přetvářejí na výrobek. Ten pak podléhá degradaci a po jeho efektivním využití se z tohoto výrobku stává odpad. Odpadem se stává i výrobek, po ukončení jeho životnosti. Odpad je definován, jako látka nebo energie, která je vyprodukována při metabolickém procesu společnosti a je pro ni nepotřebná, nevyužitelná nebo toxická a je pak odsunuta do externího prostředí. Recyklací odpadů, se značná část nebo celkové množství odpadu eliminuje. Tedy, recyklace odpadu je opětovné použití výrobních zpracovatelských a spotřebních odpadů, látek a energií, jako zdrojů druhotných surovin a to buď v původní nebo pozměněné formě, bez ohledu na místo nebo čas vzniku odpadu a jeho použití. Recyklací se snižuje spotřeba materiálu, energií a šetří se životní prostředí [10]. Koloběh elektrospotřebiče od jeho koupě, recyklace a využití, můžeme vidět na obrázku č. 3.



Obrázek č. 3 Koloběh elektrospotřebiče [31]

Ceny a nižší kvalita elektroniky má za následek pozvolné zvyšování množství elektroodpadu, který je různorodější a je zdrojem nejen základních kovů, ale množství kovů ušlechtilých. Proto je kladen větší důraz na jeho neekonomičtější, ale také ekologičtější zpracování rozmanitých typů přístrojů o různém složení. Elektroodpad je tedy tvořen směsí různých kovů, jako například železo, nikl, cín, olovo, hliník, zinek, měď, zlato, stříbro, paladium a kobalt, polovodičových materiálů, ale také je v něm obsaženo sklo, množství plastů, jako polymery, polypropylény a keramika [5, 8].

Zpracování elektroodpadu je možné několika metodami, a to:

- mechanické metody
- pyrometalurgické pochody
- hydrometalurgické metody
- elektrochemické metody
- biotechnologické metody

Elektroodpad jakož to zdroj druhotných surovin, se zpracovává nejdříve mechanickými metodami s následným pyrometalurgickým, hydrometalurgickým zpracováním a nebo se nejčastěji používá kombinované zpracování [14].

4.1. Mechanické metody

Základem zpracování kovů z elektroodpadu pomocí mechanických metod, je zmenšení velikosti vstupního materiálu a dále jeho roztřídění pomocí fyzikálních vlastností jednotlivých složek (magnetické vlastnosti, měrná hmotnost a další).

Prvním krokem, který předchází mechanickému zpracování, je ruční nebo částečná mechanizovaná demontáž s cílem oddělit součásti s obsahem cenných kovů, jako cívky, chladicí tělesa, kondenzátory, baterie, kabely, vodivé desky aj. Nedochozí jen k odstranění částí s obsahem cenných kovů, ale také ručnímu odstranění nebezpečných komponentů, jako baterie, kondenzátory s obsahem PCB, rtuťové spínače [6].

Mechanická úprava zahrnuje dva kroky:

- selektivní demontáž na komponenty
- mechanické zpracování pro recyklaci materiálu

Dále mechanická demontáž, se skládá ze tří úkolů:

- odstranění částí, které obsahují nebezpečné látky
- odstranění částí, které se mohou dále použít (bez úprav a rozbíjení)
- získání částí, které se dají znovu použít na náhradní díly

Využití odpadu po mechanickém zpracování je následující:

- do oceláren a kovohutí putuje kovový šrot
- očištěná a pomletá plastová drť se používá na nové výrobky
- odstraní se kondenzátory, odpory z tištěných spojů, desky se drtí a plast se deponuje po dotřídění
- stejně jako tištěné spoje, jsou rozebrány i spojovací členy
- kabely se drtí, roztřídí a kovy jsou zpracovány v kovohutích a plasty na lisované výrobky [6]

Při mechanickém zpracování elektroodpadu se využívá ruční demontáže, dále zkusování a zmenšení pomocí drcení a mletí, pak následuje třídění a separace jednotlivých složek [6].

4.2. Pyrometalurgické metody

Pyrometalurgický proces využívá několika procesů, a to:

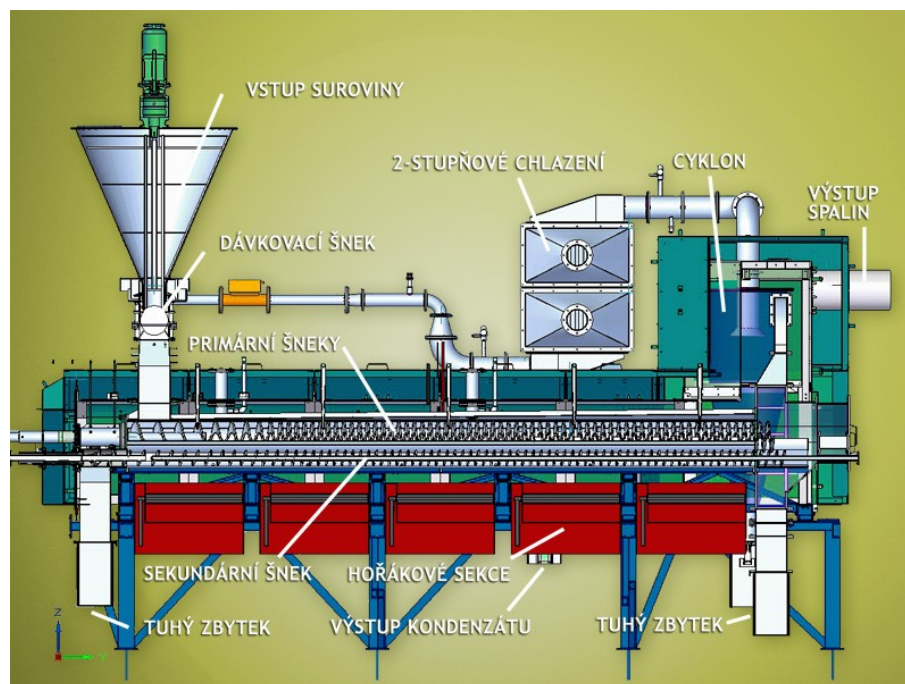
- pyrolýza
- tavení
- spékání
- reakce s plynnou fází za vysokých teplot

Možnost zpracovat v peci nebo tavenině kovů plastické hmoty a jiné organické složky, je hlavní výhodou tavení všech forem elektronického odpadu. Ovšem nevýhodou při tepelném zpracování elektronického odpadu je, že plasty a jiné izolační materiály bývají zdrojem znečištění životního prostředí při jejich odstraňování. Také problém nastává u keramických a skleněných součástí, které zvětšují objem strusky v pecích, čímž zároveň rostou ztráty na ušlechtilých i základních kovech [14].

V peci s roztaveným olovem se zpracovávají elektronické součástky, jako např. konektory, tištěné spoje nebo integrované obvody. Na povrchu taveniny vyplave část barevných kovů spolu s železem, ty se stahují a plasty vyhoří. Většina ušlechtilých kovů, přechází do roztaveného olova. Většina olova a obecných kovů se odstraní jako struska, kdy nejprve se tavenina prohání vzduchem a olovo spolu s obecnými kovy se zoxidují. Zbytek olova s drahými kovy se pak rafinují [8].

Dalším způsobem recyklace elektroodpadu je termické spálení v pyrolýzním bubnu nebo-li v rotační peci (obrázek č. 4 schéma pyrolýzní retorty). Rozmělněné komponenty spolu s koksem se dávkuje šnekovým podavačem. Produkty procesu jsou směsi železa, neželezných kovů, skelných vláken s koksem a keramiky. Při tomto zpracování se čistí plyn ve Venturiho pračkách s přídavkem vápenného mléka [8].

Drcené zlacené elektronické součástky se zpracovávají metodou reakce s plynnou fází. Jde o chloraci plynným chlórem. Proces trvá asi 20 minut při teplotě 500 °C. Chlorací získáváme AuCl_3 [8].



Obrázek č 4. Schéma pyrolýzní retorty [33]

4.3. Hydrometalurgické metody

Tyto metody, které můžeme definovat též jako extrakční, využívají chemických reakcí, díky kterým získáváme kovy, jejich soli nebo jiné sloučeniny kovů. Její princip spočívá v úpravě vstupní suroviny (odpadů) a následné loužení loužicím činidlem, díky kterému se převede kov do roztoku – výluhu. Pevný zbytek – louženec se pak oddělí od výluhu a výluh se dále zpracovává. Prvky, které jsou v nerozpustném, pevném zbytku – louženci, se mohou zpracovávat pyrometalurgicky [7].

Výluh lze zpracovávat na kov několika způsoby:

- cementací
- získávání kovů z roztoku elektrolýzou
- kapalinová extrakce
- iontová výměna
- vylučování z roztoku krystalizací [7]

Výhody hydrometalurgických metod:

- zpracování chudých i bohatých materiálů
- nízké teploty zpracování
- vyšší výtěžnosti a menší ztráty ušlechtilých kovů oproti zpracování pyrometalurgického
- nižší provozní náklady a spotřeba energie
- lepší ochrana životního prostředí [8]

Nevýhody hydrometalurgických metod:

- zařízení má kratší životnost vzhledem k agresivitě používaných chemikálií
- používání drahých konstrukčních materiálů (titan, sklo, antikorozi ocel)
- vznikají silně zasolené odpadní vody s obsahem Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}
- exhalace s obsahem NO_x , SO_2
- na změnu složení zpracovávaného materiálu nereaguje okamžitě
- velké objemy loužících roztoků [8]

4.3.1. Cementace

Při cementaci probíhá vytěsňování kovu z roztoku jiným kovem, který je méně ušlechtilý než kov v roztoku. Kov méně ušlechtilý pak přejde do roztoku.

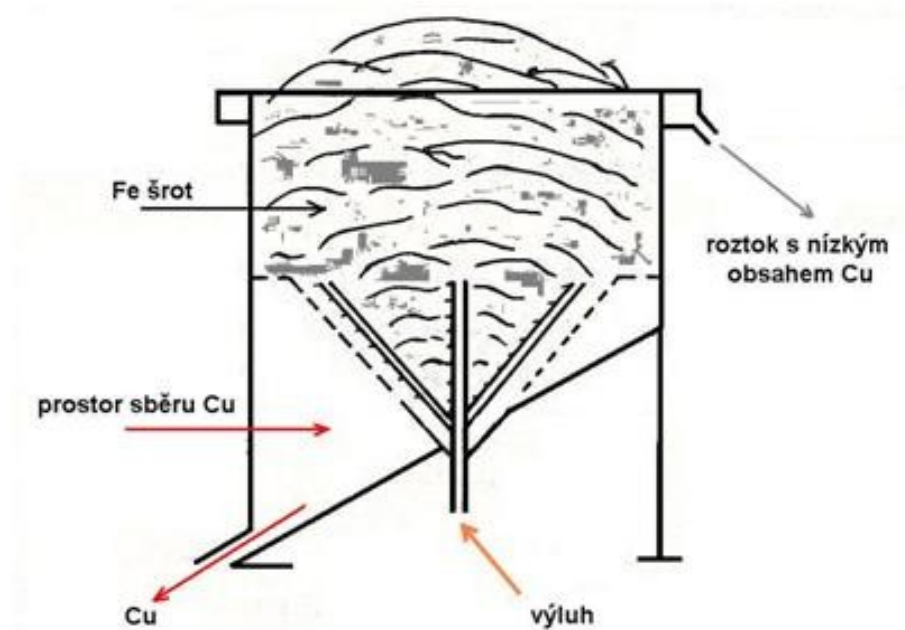
Obecně platí: $\text{Me}_1^+ + \text{Me}_2^0 = \text{Me}_1^0 + \text{Me}_2^+$ (1)

Např. cementace mědi: $\text{Cu}^{2+} + \text{Fe}^0 = \text{Cu}^0 + \text{Fe}^{2+}$ (2)

Vlivem rozdílu tlaku osmotického a tlaku rozpouštěcího, probíhá rozpouštění kovu méně ušlechtlejšího a srážení ušlechtlejšího. Elektrolytický rozpouštěcím tlakem nazýváme ionty, které do roztoku vysílají kovy. Zvýšenou teplotou, probubláváním vzduchem nebo vodní parou, se urychluje difuze a vyrovnávají se rozdílné koncentrace. Může probíhat i selektivní cementace, kdy se nejprve vysrážejí kovy neušlechtlejší a po jejich odstranění se srážejí kovy méně ušlechtilé, např. čištění výluhů Zn, Ni, Mn před elektrolýzou, Cu, Cd z ZnSO_4 [7].

Při získávání mědi srážením z roztoku železnatým šrotem, je možné provádět cementaci periodicky nebo nepřetržitě. Pro periodické srážení jsou určeny bubny, nádrže a

válcovité nádoby (cementační hrušky), pro nepřetržitou cementaci slouží žlaby a nebo cementační kužely (obrázek č. 5) [8].



Obrázek č. 5 Cementační kužel [8]

4.3.2. Elektrolýza

Elektrolýzu řadíme mezi elektrochemické procesy, kdy elektrolýza se využívá nejen při získávání kovů z roztoků po loužení rud – elektrolytické srážení, ale také na získávání čistých kovů ze surových kovů – elektrolytická rafinace. Mezi elektrolytickým srážením a rafinací, je několik rozdílů, a to: [8]

U elektrolytické rafinace

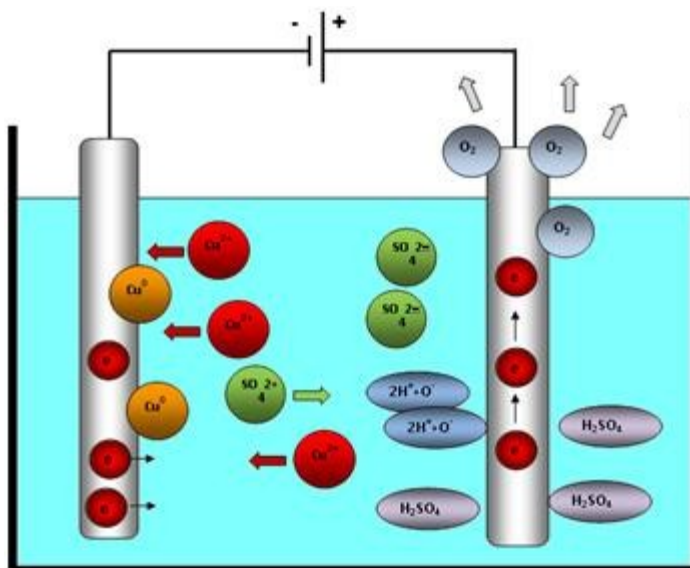
- rozpustná anoda se rozpouští působením proudu
- elektrolyt má téměř stejné složení
- kationty kovu jsou přenášeny proudem od anody ke katodě, velká část energie jde na překonání odporu elektrolytu
- energie, která je potřebná na rozpouštění kovů na anodě se kompenzuje energií, kterou uvolňují kationty a které se na anodě srážejí
- pracuje se s čistými roztoky [8]

U elektrolytického srážení

- katody jsou nerozpustné a slouží pouze k přenášení proudu v elektrolytu a na vybíjení kationtů
- elektrolyt je ochuzen o ionty sráženého kovu, což se kompenzuje kontinuálním přidáváním čerstvého roztoku, aby bylo stále složení elektrolytu
- energie se spotřebovává na rozložení solí těžkého kovu a je vyšší než u rafinace
- na elektrodách se tvoří plyny, vyvolávají chemickou polarizaci s obrácenou elektromotorickou silou, na překonání této energie je potřeba větší množství energie
- pracuje se s méně čistými roztoky, to vede ke korozi a zpětnému rozpouštění katodové usazeniny a také se snižuje výtěžek na jednotku proudu, času nebo výkonu [8].

Při usazování kovu na katodě, hraje důležitou roli struktura a fyzikální vlastnosti usazujícího se kovu. Jak u rafinace, tak i u srážení, se snažíme získat husté sraženiny. Při usazování kovu na katodě, se vytváří krystalizační jádra, které postupně rostou. Hrubé krystalky kovu se tvoří, pokud rychlost usazování převyšuje rychlost přivádění. Pokud je tomu naopak, nárůst krystalů se omezí nepřetržitou tvorbou nových krystalizačních středisek na povrchu kovu, dostaneme tedy jemně krystalickou strukturu. Jemnější struktura a hustší usazenina, vznikne při zvyšování proudové hustoty, kdy se i objevují na povrchu a na okrajích katody vyduté výrůstky, které porušují usazeninu kovu. Vyplývá z toho tedy, že pokud máme roztok koncentrovanější, získáváme krystalickou sraženinu hustší a jemnější, pokud budeme koncentraci elektrolytu snižovat, sraženina bude méně hustá až sypká, prášková a bude se odlepovat od katody. [8].

Odpadní roztoky obsahují velké množství kovů např. měď, zinek, nikl, kadmium, stříbro, palladium, železo aj., které jsou ekonomicky i ekologicky hůře zpracovatelné. Elektrolýza se v tomto případě používá zřídka, získává se většinou podíl mědi a niklu a drahé kovy zůstávají v anodových kalech. Příklad získávání mědi elektrolýzou z roztoku CuSO_4 vidíme na obrázku č. 6 [8].



Obrázek č. 6 Elektrolýza mědi z roztoku CuSO_4 [8]

4.3.3. Kapalinová extrakce

Kapalinová extrakce nebo také extrakce organickými rozpouštěly, převádí soli kovů z vodného roztoku do kapalné fáze, které jsou nemísitelné s vodou. Kov se převádí z vodné fáze do organické, za účelem získání čisté kovové formy či odstranění z roztoku, je-li kov nečistotou. Sloučenina kovu nebo kov, reaguje s extrakčním činidlem a vzniká chemická látka, která je rozpustnější v organické fázi lépe, než ve fázi vodné. Extrahovaný kov se z organické fáze pak získává reextrakcí do vodného roztoku. V novém vodném roztoku má látka 10 – 100x vyšší koncentraci, než v původní vodné fázi. Organický roztok se pak vrací na další extrakci buď přímo nebo až po regeneraci [7, 8].

Extrakčním činidlem, které je rozpustné v organických kapalinách, jsou organické kyseliny, alkoholy, estery, ketony, aminy a jiné. Po extrakci získáváme organickou fázi – extrakt. Odpadem je vodná fáze po extrakci, neboli rafinát. Odpadem je i reextrakt, což je vodná získaná reextrakcí kovu z extraktu do vodné fáze. Přístroje na extrakci, nazýváme extrakční kolona [7, 8].

Procesy extrakce, můžeme rozdělit na:

- 1) extrakci, založenou na výměně kationtů
- 2) extrakci, založenou na výměně aniontů
- 3) extrakci neutrálními extrakčními činidly, po předchozí solvataci (obalení částic rozpouštěné látky molekulami rozpouštědla) nebo hydrosolvataci [7]

4.3.4. Iontová výměna

Iontová výměna využívá některých látek – iontoměníčů, které jsou schopny v kontaktu s vodným roztokem, vyměňovat ionty stejného znaménka nebo iontovou výměnu můžeme charakterizovat také jako výměnu mezi ionty tuhé fáze (iontoměníče) za ekvivalentní množství iontů, které jsou obsaženy v roztoku, se kterými přichází tuhá fáze do styku. Iontoměníče jsou tuhé makromolekulární látky, které jsou nerozpustné ve vodě a v běžných rozpouštědlech. Skládají se z pevné kostry – matrice, která je tvořena elektricky nabitými iontovými skupinami a volně v mezerách se pak pohybují ionty opačného náboje. Ionty, které chceme, se zachycují na iontoměníči, jsou pohyblivé a elektricky vyvažují náboj iontových skupin matrice, které jsou nahrazovány ionty, se stejným nábojem, které obsahují funkční skupiny matrice [7, 8].

Podle vlastností a charakteru účinných funkčních skupin, se iontoměníče (ionexy) dělí na:

- katexy měniče kationtů, s kyselými funkčními skupinami
- anexy měniče aniontů, se zásaditými funkčními skupinami
- amfoterní, s oběma druhy funkčních skupin

Iontový výměna probíhá v iontoměníčových kolonách, ke roztok protéká přes vrstvu stabilních ionexů. Bývá zapojeno několik sorpčních kolon za sebou. Iontová výměna může probíhat i promícháváním roztoku iontoměníčem.

Existují přirozené i syntetické látky na výměnu iontů. Nejvýznamnější jsou syntetické pryskyřice a méně pak minerální měniče iontů [7, 8].

4.3.5. Krystalizace

Krystalizace je proces, získávání čistých solí kovů z roztoku, na očištění roztoku od příměsí a také na získávání vedlejších produktů. Krystalizace probíhá při ochlazování nasyceného roztoku nebo při odpařování rozpouštědla. Rovnováhy mezi krystaly a roztokem, se znázorňují pomocí diagramů rozpustnosti. Diagram rozpustnosti znázorňuje závislost složení a teploty, kdy na osu x se vynáší složení roztoku v hmotnostních nebo molárních procentech a na osu y teplota [7, 8].

Krystalizace se skládá z několika procesů:

- 1) tvorba přesyceného roztoku
- 2) tvorba zárodků – center
- 3) pokračování růstu zárodků

Centra neboli zárodky mohou vznikat samovolně a nebo přidáním tuhé látky do roztoku, jako opora pro růst krystalů. Rychlejší vznik krystalů můžeme podpořit také rychlejším ochlazováním, mícháním, přítomností ostrých bodů (povrchů), velkou čistotou roztoků a velkou koncentrací. Pokud máme větší počet center, nedostatečně se nasycují rozpuštěnou látkou a krystalky jsou drobné. Při pomalejším ochlazování vzniká menší počet center o větší velikosti krystalů. Je možné krystalizovat látky postupně, tato metoda se nazývá frakční krystalizací, která je založena na různé rozpustnosti solí. Metoda lze uplatnit u roztoku, který obsahuje dvě a více látek a krystalizaci můžeme řídit [8].

4.4. Biotechnologické metody

Biotechnologie je definována jako soubor postupů, které technologicky využívají látkové přeměny mikroorganismů. Biotechnologie z historického hlediska dělíme do několika etap:

1. období starověk – 1886: výroba potravin
2. období 1886 – 1940: vývoj konkrétních biotechnologií
3. období 1940 – 1960: objeven penicilin, antibiotika
4. období 1960 – 1975: vývoj vakcín a zkoumání enzymů
5. období 1975 – dnes: rozvoj genetického inženýrství, poznatky z enzymové a proteinové chemie [16]

Použitím mikroorganismů (microremediation) se sníží nebo přemění nebezpečné látky na méně nebezpečné a nebo látky bezpečné pomocí metabolismu organismů [17]. V tabulce č. 5 najdeme organismy, které mají tuto schopnost. Tyto organismy mohou být použity k odstranění nebezpečných látek, které mohou být přítomny v elektroodpadu.

Tabulka č. 5 Mikroorganismy schopné snížit nebo přeměnit nebezpečné látky na méně nebezpečné nebo látky bezpečné [17]

Název organismu	Typ	Název toxického kovu
<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	Bakterie	Arzén, olovo
<i>Micrococcus roseus</i>	Bakterie	Kadmium
<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	Bakterie	Arzén, olovo
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Houba	Arzén
<i>Aspergillus niger</i>	Houba	Kadmium, olovo
<i>Bacillus sphaericus</i>	Bakterie	Chrom
<i>Myxococcus xanthus</i>	Bakterie	Uran
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Bakterie	Kadmium, uran
<i>Streptoverticillium cinnamomeum</i>	Bakterie	Olovo
<i>Rhizopus arrhizus</i>	Houba	Uran
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Houba	Kadmium
<i>Bacillus circulans</i>	Bakterie	Chrom

<i>Bacillus megaterium</i>	Bakterie	Chrom
<i>Deinococcus radiodurans</i>	Bakterie	Uran
<i>Micrococcus luteus</i>	Bakterie	Uran
<i>Aspergillus niger</i>	Houba	Chrom, olovo
<i>Monodictys pelagica</i>	Houba	Chrom, olovo
<i>Anaeromyxobacter sp.</i>	Bakterie	Uran
<i>Clostridium sphenoides</i>	Bakterie	Uran
<i>Halomonas sp.</i>	Bakterie	Uran
<i>Serratia sp.</i>	Bakterie	Chrom
<i>Fusarium oxysporum</i>	Houba	Kadmium
<i>Rhizopus oryzae</i>	Houba	Chrom
<i>Bacillus fusiformis</i>	Bakterie	Olovo
<i>Cupriavidus metallidurans</i>	Bakterie	Kadmium
<i>Desulfotomaculum auripigmentum</i>	Bakterie	Arzén
<i>Sporosarcina ginsengisoli</i>	Bakterie	Arzén
<i>Aspergillus flavus</i>	Houba	Olovo

5. Praktická část

Pro praktickou část své bakalářské práce jsem zvolila materiálovou bilanci vybraného elektrospotřebiče a následnou zobrazovací metodu vybraných součástek.

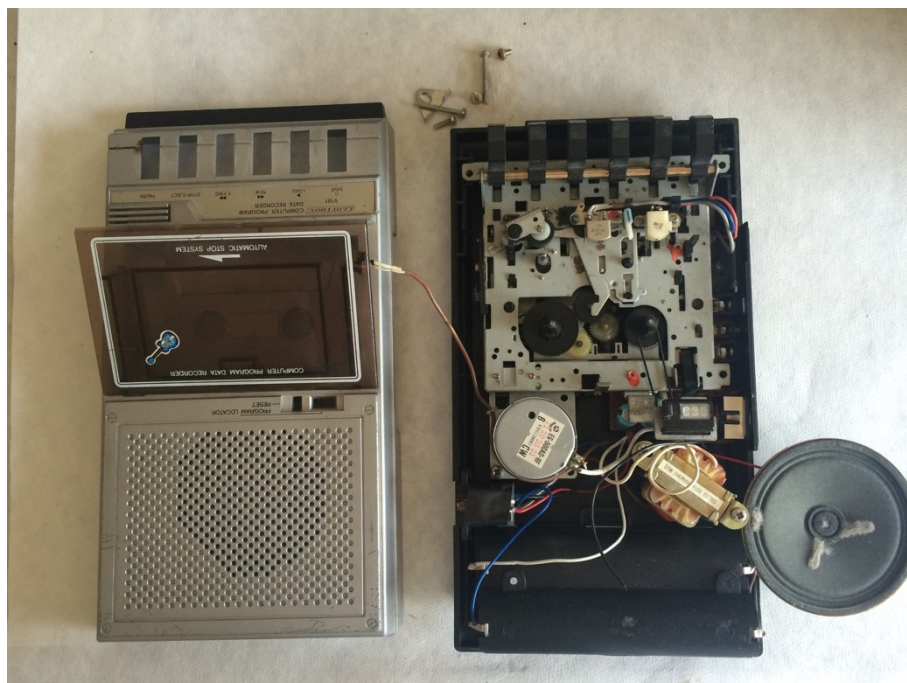
5.1. Materiálová bilance

Materiálovou bilanci jsem provedla v laboratoři Katedry neželezných kovů, rafinace a recyklace. Pro materiálovou bilanci jsem si vybrala kazetový přehrávač (obrázek č. 7) značky LLOYTRON Computer program data recorder Model V181 Anglické společnosti z roku 1984.

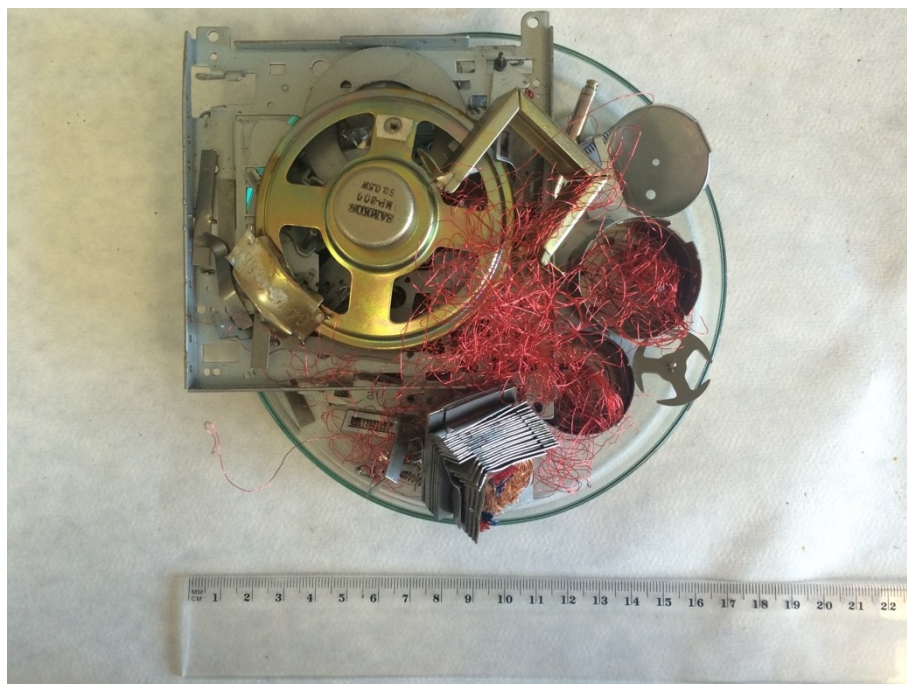


Obrázek č. 7 Kazetový přehrávač LLOYTRON

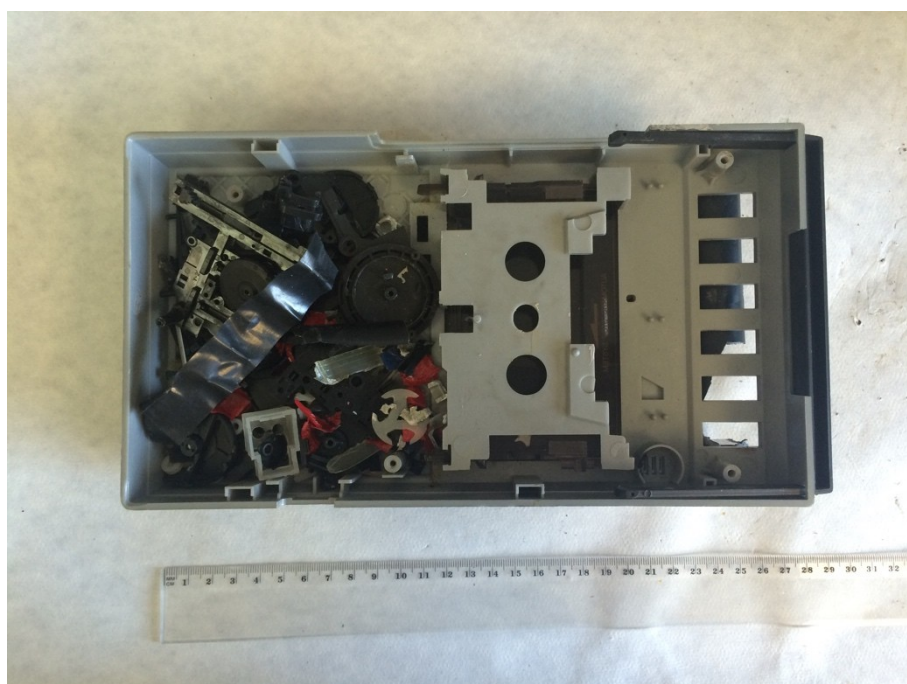
Kazetový přehrávač jsem nejprve zvážila a hmotnost zaznamenala pro další kroky materiálové bilance (výpočty). Hmotnost kazetového přehrávače byla 855,5 g. Po zvážení jsem kazetový přehrávač rozebrala na jednotlivé typy materiálů (obrázek č. 8) a to: **kov** (obrázek č. 9), **plasty** (obrázek č. 10), **základní deska spolu s tištěnými spoji**, (obrázek č. 11) **kabely** (obrázek č. 12), **guma** (obrázek č. 13), **papír a textil** (obrázek č. 14), **zachycený prach** (obrázek č. 15) a **ostatní** (obrázek č. 12). Některé části kazetového přehrávače byly složeny z více typů materiálu, některé části šly od sebe oddělit, ty které nešly, byly zařazeny do kategorie ostatní. Pro rozebrání kazetového přehrávače jsem použila různé typy šroubováků, kladivo, kombinované kleště, štípací kleště, kleště SIKO, vysouvací nůž, pilka a svěrák.



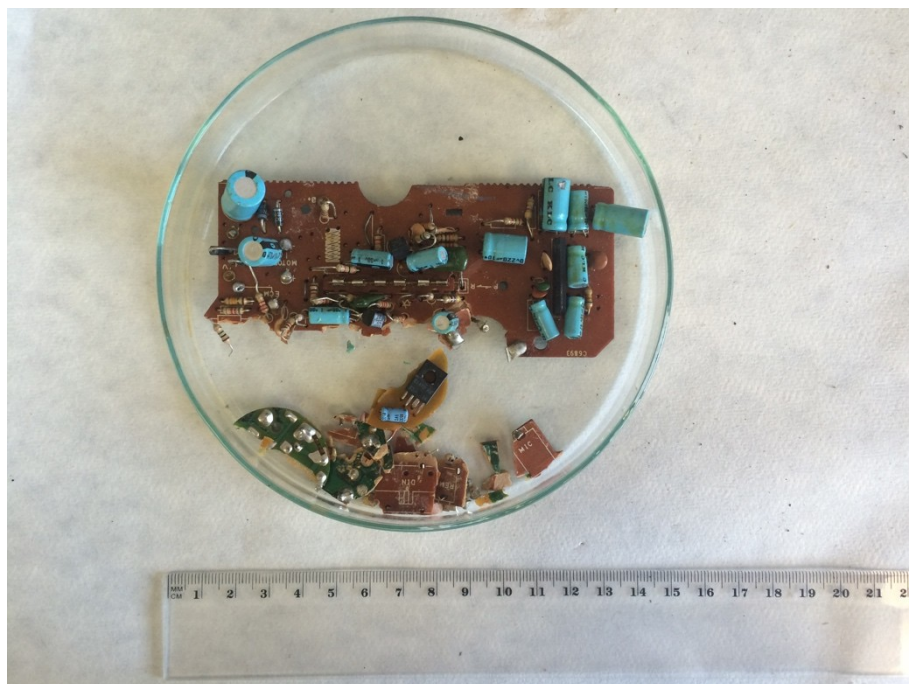
Obrázek č. 8 Kazetový přehrávač LLOYTRON náhled



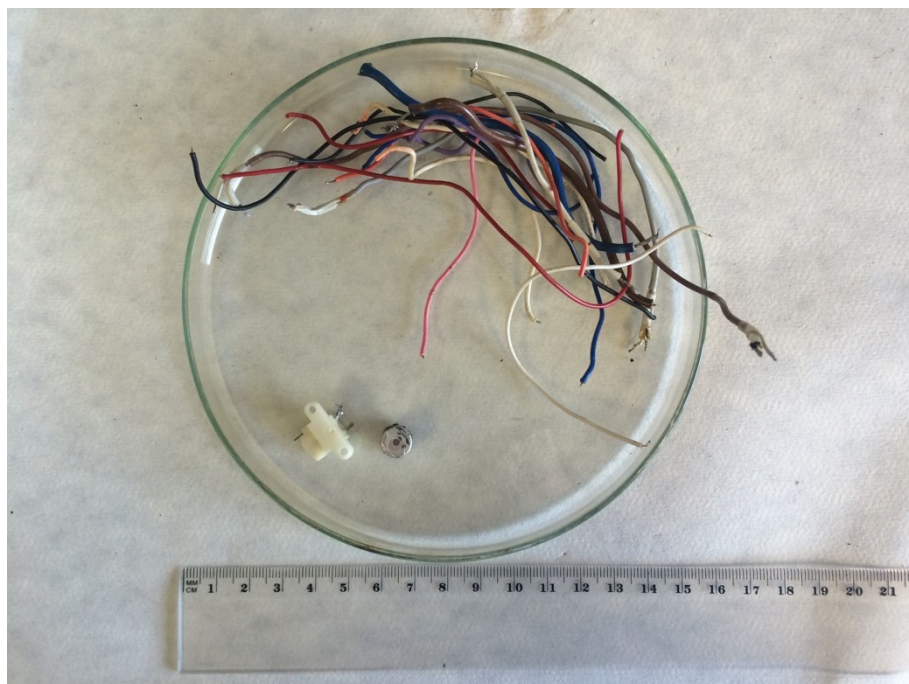
Obrázek č. 9 Kovy



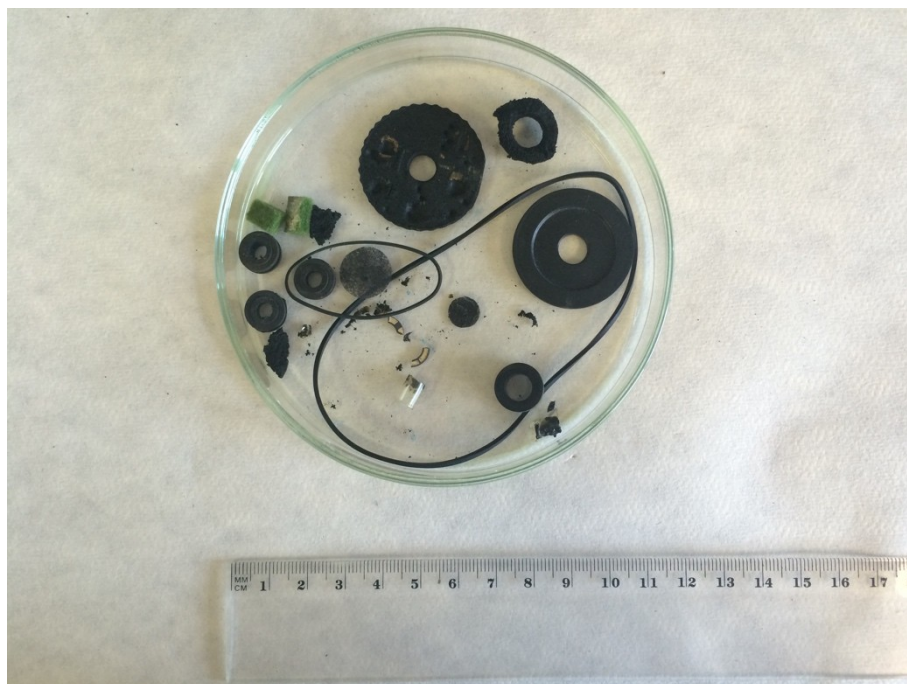
Obrázek č. 10 Plasty



Obrázek č. 11 Základní deska s tištěnými spoji



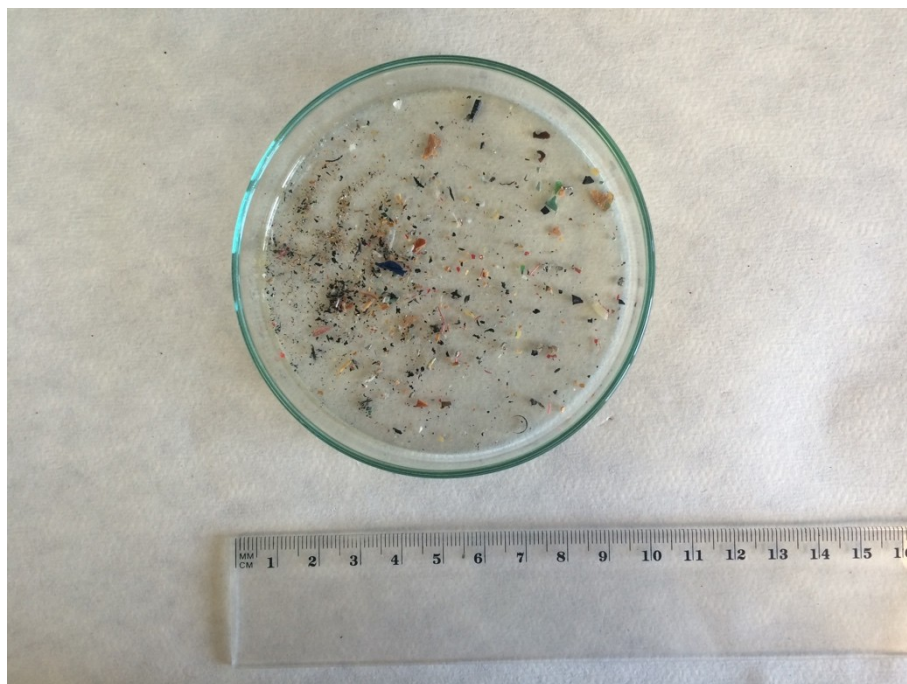
Obrázek č. 12 Kabely a ostatní



Obrázek č. 13 Guma



Obrázek č. 14 Papír a textil



Obrázek č. 15 Prach

Po rozebrání kazetového přehrávače jsem jednotlivé typy materiálů zvažila a zjistila materiálové složení. **Kov** 54,55 %, **plasty** 38,40 %, **základní deska spolu s tištěnými spoji** 4,74 %, **kabely** 1,23 %, **guma** 0,47 %, **papír a textil** 0,23 %, **prach** 0,03 % a **ostatní** 0,35 %. Celková hmotnost jednotlivých částí po rozebrání byla 854,241 g, původní hmotnost byla o 1,259 g vyšší, tato hmotnost činila ztráty při rozebírání (úlety, prach, atd.). Zjištěná materiálová bilance je uvedena v tabulce č. 6 a grafu č. 8. A na obrázcích, které jsou uvedeny výše, pak jednotlivé části kazetového přehrávače, při rozebrání.

Tabulka č. 6 Materiálová bilance kazetového přehrávače LLOYTRON

Materiál	Hmotnost [g]	Hmotnostní procenta [%]
Kovy	466	54,47
Plasty	328	38,34
Základní deska spolu s tištěnými spoji	40,5	4,73
Kabely	10,5	1,23
Guma	4	0,47
Papír a textil	2	0,23
Prach	0,241	0,03
Ostatní	3	0,35
Celková hmotnost	854,241	99,85
Technické ztráty	1,259	0,15
Celková hmotnost před rozebráním	855,5	100

Graf č. 8 Materiálová bilance kazetového přehrávače LLOYTRON

5.2. Zobrazovací metoda

Pro analýzu, jsem vybrala několik součástí ze získaných skupin materiálů a to ze skupiny kovy (obrázek č. 16 – 18), plasty (obrázek č. 19, 20.), základní deska s tištěnými spoji (obrázek č. 21, 22) a guma (obrázek č. 23 – 26). Jednotlivé součásti jsem podrobila zobrazovací analýze v laboratoři Katedry neželezných kovů, rafinace a recyklace na mikroskopu Microptik LabRobot Top – Eye P4/P5.

Obrázek č. 16 Kovy – mosazná součástka

Na levém obrázku vidíme původní součástku z kazetového přehrávače a vpravo pak tutéž součástku po zvětšení. Můžeme si všimnout pravidelných zářezů po celém obvodu a malého zúžení, bez zářezů. Na obrázku č. 14 jsou zářezy a malé zúžení bez zářezů zobrazeny po zvětšení.

Obrázek č. 17 Kovy – mosazná součástka

Obrázek č. 18 Kovy – měděný drát

Měděná spirálka a malé části drátu jsou zobrazeny v původním stavu (vlevo) a po zvětšení (vpravo).

Obrázek č. 19 Plasty – plastová součástka

Na plastové součástce z kazetového přehrávače, jsou po zvětšení na pravém obrázku patrné jednotlivé vrstvy plastu a na obrázku č. 20 i odlišné struktury těchto vrstev.

Obrázek č. 20 Plasty – plastová součástka

Obrázek č. 21 Základní deska s tištěnými spoji

Na části základní desce s tištěnými spoji je jasné vidět, že součástka je složena z několika vrstev. Po zvětšení této součástky, je na pravém obrázku vidět tyto vrstvy slinuté v jeden celek spolu s kovovými nýty, které jsou zobrazeny na obrázku č. 22.

Obrázek č. 22 Základní deska s tištěnými spoji – kovový nýt

Obrázek č. 23 Guma

I na gumové součástce z kazetového přehrávače jsou po přiblížení patrné vrstvy gumy.

Obrázek č. 24 Guma

Obrázek č. 25 Guma – plst'

Obrázek č. 26 Guma – plst'

6. Závěr

V závěru své práce bych ráda shrnula vybrané možnosti recyklace elektroodpadu a problematiku elektroodpadu u nás a ve světě.

Do roku 2007 bylo v České republice běžné vhazovat vysloužilý elektroodpad do sběrných nádob a spolu s komunálním odpadem, pak vysloužilé spotřebiče putovaly na skládky. Se zvyšující produkcí elektrospotřebičů, se zvyšovalo množství elektroodpadu i na skládkách. Zde nastal problém po ekologické stránce, protože vysloužilé elektrospotřebiče obsahují nebezpečné komponenty, které ohrožovaly životní prostředí. Už od roku 2005 u nás funguje několik firem, zabývajících se recyklací elektrických a elektronických zařízení. Nejen u nás, ale i ve světě je tedy snaha o snižování elektroodpadu v odpadu komunálním, nejen kvůli ekologické, ale také stránce ekonomické. Elektroodpad obsahuje kromě plastů také ušlechtilé kovy, které jsou žádaným zdrojem druhotných surovin a šetří surovinové zdroje těchto kovů.

Úpravou legislativy se úspěšně snižuje množství nevyužitelného elektroodpadu a dochází ke zefektivnění jeho recyklace.

Ke zpracování elektroodpadu se používají mechanické, pyrometalurgické, hydrometalurgické a biotechnologické metody. V praxi se většinou používají kombinace těchto metod.

V praktické části jsem zvolila materiálovou bilanci vybraného spotřebiče s vyhodnocením zastoupení jednotlivých skupin materiálů. Z jednotlivých skupin jsem pak vybrala součástky, které jsem podrobila zobrazovací metodě pomocí mikroskopu.

Vypracováním této práce, jsem se získala nové zkušenosti v řešení problematiky recyklace elektroodpadu a prohloubila jsem dosavadní znalosti s nakládáním odpady metodami, které lze využít i pro získávání druhotných surovin.

Seznam – literatury a zdrojů

- [1] ČESKO. Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů. In *Sbírka zákonů ČR*, ročník 2001, částka 71. Dostupné na: <<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185>> [cit. 2016-03-01]. ISSN 1211-1244
- [2] ČESKO. Vyhláška č. 381/2001 Sb., Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů (Katalog odpadů). In *Sbírka zákonů ČR*, ročník 2001, částka 145. Dostupné na: <<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-381>> [cit. 2016-04-01]. ISSN 1211-1244
- [3] ČSN EN 50625 – 1. *Sběr, logistika a požadavky na zpracování OEEZ – Část 1: Obecné požadavky na zpracování*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2014. 36 str.
- [4] *Odpady*. Odborný časopis pro nakládání s odpady a životní prostředí. Praha 2: M. Sedláček, 2016, roč. 26, č. 3. ISSN: 1210 – 4922
- [5] BROŽOVÁ, S., MALCHARCZIKOVÁ, J., VÁŇOVÁ, P., et al.: *Elektroodpad - analýza a možnosti využití*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2008. ISBN 978-80-248-1867-2.
- [6] BROŽOVÁ, S.: *Možnosti recyklace vybraných materiálů: Możliwości recyklingu wybranych materiałów*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014. ISBN 978-80-7204-880-9.
- [7] *Hydrometalurgie* [online]. [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://nom.wz.cz/Taveni/hydrometalurgie.htm>
- [8] *Chemické metody zpracování nerostných surovin a odpadů*. [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://hgfl0.vsb.cz/546/Chemproc/>
- [9] Le grenier informatique. *Les Lectures de Cassettes*. [online]. [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.le-grenier-informatique.fr/pages/la-collection-d-objets/les-lecteurs-de-cassettes.html>

- [10] BOŽEK, F., URBAN, R., ZEMÁNEK, Z.: *Recyklace*. 1. Vyd. Vyškov: MoraviaTisk, 2003. 238s. ISBN 80-238-9919-8.
- [11] *Odpady*. Odborný časopis pro nakládání s odpady a životní prostředí. Praha 2: M. Sedláček, 2015, roč. 25, č. 11. ISSN: 1210 – 4922
- [12] *Odpady*. Odborný časopis pro nakládání s odpady a životní prostředí. Praha 2: M. Sedláček, 2015, roč. 25, č. 5. ISSN: 1210 – 4922
- [13] *Odpady*. Odborný časopis pro nakládání s odpady a životní prostředí. Praha 2: M. Sedláček, 2015, roč. 25, č. 7 - 8. ISSN: 1210 – 4922
- [14] KRIŠTOFOVÁ, D.: *Recyklace ušlechtilých kovů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001. ISBN 80-7078-939-5
- [15] CHYTIL, D. *Nakládání s elektroodpady v Olomouckém kraji*. Brno, 2011.
- [16] SPÁLOVSKÁ, V. *Minerální biotechnologie* [online]. Zlín, 2012 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/21628/spalovská_2012_bp.pdf?sequence=1
- [17] E (Electronic) Waste Management using Biological systems-overview. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences [online]. 2014, 3(7), 495 - 504 [cit. 2016-05-03]. ISSN 2319-7706. Dostupné z: <http://www.ijcmas.com/vol-3-7/Shuchi%20Patel%20and%20Avani%20Kasture.pdf>
- [18] *Třídění odpadu*. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.trideniodpadu.cz/#!elektroodpad/c1fjh>
- [19] *REMA Systém ekologického nakládání s elektroodpadem* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.remasystem.cz>
- [20] *Elektrowin Zpětný odběr elektrozařízení* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.elektrowin.cz>
- [21] *Asekol Ze starého nové* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.asekol.cz/asekol/>
- [22] *RETELA Systém sběru a recyklace elektroodpadu* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.retela.cz/#>
- [23] *OFO recycling Kolektivní systém zpětného odběru elektrozařízení* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <https://www.oforec.cz/index.php>
- [24] *Kovohutě Příbram Průmyslová výroba s ekologickou odpovědností* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.kovopb.cz>

- [25] *New Journey, Výroční zpráva společnosti REMA systém za rok 2014*. [online] Praha 4, 2014 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z:
http://www.remasystem.cz/images/documents/VZ/vz_2014.pdf
- [26] *Ekolist.cz Zprávy o přírodě, životním prostředí a ekologii*. [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/rady-a-navody/z-cenovek-za-elektrospotrebice-zmizi-poplatek-za-historicky-elektroodpad>
- [27] *Výroční zpráva ELEKTROWIN za rok 2014*. [online]. Praha 4, 2014 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z:
http://www.elektrowin.cz/cs/download/a_obecne/vyrocní_zpravy/vyrocní_zprava_2014.pdf
- [28] *Výroční zpráva ASEKOL za rok 2014*. Praha 4, 2014 [cit. 2016-05-11].
- [29] *Electronics TakeBack Coalition* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z:
<http://www.electronicstakeback.com/designed-for-the-dump/e-waste-in-lan>
- [30] *Step Solving the E-waste Problem* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z:
<http://www.step-initiative.org>
- [31] *Kasa.cz Ekologie s ASEKOL* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z:
<https://www.kasa.cz/asekol/>
- [32] *Rema zpravodaj*. Praha 4, 2014 [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z:
http://www.remasystem.cz/images/documents/rema_newsletter_1412_n06.pdf
- [33] *ENVicrack klastr alternativních zdrojů energie. Pyrolýza*. [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.envicrack.cz/pyrolyza.html>